

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.  
Материалы IX международной конференции  
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия  
Петрозаводск, 2005. С. 128-132.

## РЕЖИМ РЕАБИЛИТАЦИИ СООБЩЕСТВ БЕНТОСА В АКВАТОРИЯХ МАРИКУЛЬТУРЫ БЕЛОМОРСКИХ МИДИЙ

М.В. ИВАНОВ, С.М. ЧИВИЛЕВ, Е.П. БАНКИН

*Санкт-Петербургский государственный университет*

Рассматривается воздействие промышленной марикультуры мидий на сообщества макрозообентоса. Исследования проводили в губе Никольская Кандалакшского залива Белого моря. Оценены динамика и объемы поступления взвешенных органических веществ (ВОВ), продуцируемых мидиевыми хозяйствами, в акваторию. Показано, что более 70% ВОВ осаждаются в непосредственной близости от участка марикультуры, где происходит их интенсивная минерализация и частичное захоронение. При благоприятном кислородном режиме реакция макрозообентоса на поступление дополнительных ВОВ выражается в резком увеличении общей биомассы и численности, и преобладании собирающих детритофагов. При поступлении ВОВ в количествах вызывающих дефицит кислорода наблюдается полная элиминация сообщества макрозообентоса, за исключением нескольких видов-опортунистов. После снятия нагрузки деградировавшие сообщества в течении 2-3 лет восстанавливают основные характеристики (численность, биомассу, видовое разнообразие). Дальнейшее восстановление до первоначального облика происходит значительно медленнее, более 10 лет. Во многом это связано с изменившимися физико-химическими характеристиками донных осадков (гранулометрический состав, содержание органических веществ, наличие свободного кислорода).

**M.V. Ivanov, S.M. Chiviliev & E.P. Bankin. The order of rehabilitation of benthos communities in the districts of aquaculture of blue mussels in the White Sea // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 128-132.**

The influence of the industrial aquaculture of blue mussels on the macrozoobenthos communities is being considered in the present paper. The investigations have been conducted in the Nikolskaya inlet of the Kandalaksha Bay in the White Sea. Dynamics and amounts of suspended organic matter being produced by the mussels and falling into the water have been estimated. It was shown that more than 70% of suspended organic matter fall quite nearby the mussel farm where they mineralize intensively and partially become the deposits. By favorable oxygen conditions the additional organic matter causes strong growth of total biomass and quantity of benthic communities. Detritus-eating animals begin to dominate there. When the amounts of suspended organic matter increase and cause the lack of oxygen, total elimination of the community (except several opportunistic species) can be observed.

After elimination of the aquaculture farms the broken communities restore their basic characteristics for 2-3 years (biomass, quantities, species diversity). Further rehabilitation to the original state occurs much slower and can take more than 10 years. In many respects it is caused by modified physical and chemical characteristics of the ground sediments (granulometric composition, amounts of organic matter, presence of free oxygen).

Воздействия аквакультурных мероприятий на окружающие экосистемы всегда волновали биологов. Самая северная - беломорская марикультура мидий помимо традиционных вопросов ставит вопрос и о пределах выносливости арктических систем. Тем более что в силу особенностей биотехнологии беломорские мидиевые хозяйства приурочены к довольно замкнутым прибрежным акваториям, где эффекты массового разведения моллюсков проявляются с большей силой. Наибольшее воздействие оказывается на бентосные сообщества, расположенные в непосредственной близости от марикультуры. Эти сообщества подвергаются органическому загрязнению – поступление в систему дополнительных органических веществ, доступных для усвоения гетеротрофам. Целью наших исследований являлось

проследить основные изменения, происходящие в бентосных сообществах при органическом загрязнении, связанном с марикультурой мидий, и оценить процессы восстановления после снятия нагрузки.

### Материалы и методы

Материал собирали в период с 1990 по 2001 гг. Структура материала разбивается на два блока. Во-первых, донные пробы – материал, характеризующий бентосные сообщества и их абиотическое окружение. Во-вторых, пробы с мидиевых хозяйств – материал, характеризующий мидиевые хозяйства, как источник воздействия на окружающие системы.

### Донные пробы

Отбор проб осуществляли в губах Никольская и Осечкова Кандалакшского залива Белого моря, где

располагалось хозяйство по выращиванию мидий. В общей сложности за весь период наблюдений пробы отбирали на 22 станциях, расположенных под мидиевыми хозяйствами и вне их (Рис. 1). Съемку проводили, как правило, один раз в год, в летний сезон. Отбор проб осуществляли единовременно в течение 1-3 дней.

Структура пробы на каждой станции включала в себя: отбор проб макрозообентоса, отбор проб донных осадков, непосредственное измерение ряда физико-химических характеристик донных осадков и воды.

Основная масса материала по макрозообентосу была собрана в 1990–1998 гг. Всего было отобрано 95 проб. Каждая проба представляла собой три дночерпательных пробы (дночерпатель Петерсена,  $1/40 \text{ м}^2$ ). Пробы промывали через сито с ячейей 0,5 мм. Организмы макрозообентоса в каждой дночерпательной пробе определяли преимущественно до вида, для каждого вида подсчитывали численность и биомассу. На основании полученных данных для каждой станции рассчитывали: количество таксонов макрозообентоса; суммарные величины численности и биомассы; индекс видового разнообразия Шеннона для численности.

Пробы донных осадков отбирались параллельно сборам бентоса. Для определения содержания органических веществ на каждой станции пробы отбирались в трех повторностях. Результаты трех независимых анализов для каждой станции в даль-

нейшем усредняли. Образцы выдерживали в сушильном шкафу при температуре  $105^\circ\text{C}$  до постоянного веса, после чего определяли их зольность, как потерю веса при прокаливании в муфельной печи при температуре  $500\text{--}520^\circ\text{C}$  в течении 10 часов и выражали в процентах. В дальнейшем эту величину принимали равной общему содержанию органических веществ в донных осадках.

Гранулометрический анализ для ряда станций в губах Никольская и Осечкова был проведен в 2001 г. Пробы грунта высушивали до воздушно-сухого состояния, дальнейший анализ проводили в городской лаборатории. Для определения гранулометрического состава использовали метод, принятый в Институте Океанографии РАН (Петелин, 1967).

Начиная с 1999 г., проводили измерения окислительно-восстановительного потенциала грунта (Eh). Eh донных осадков измеряли непосредственно в дночерпателе, сразу после его подъема на борт судна, для измерения использовали милливольтметр рН-150. Измерения проводились в толще грунта на глубине 5 мм и 40 мм в нескольких повторностях. Значения Eh приведены с учетом поправки относительно нормального водородного электрода (Шостак, Лостерник, 1988). За весь период наблюдений при отборе проб бентоса и донных осадков непосредственно на месте измеряли температуру грунта и придонной воды.

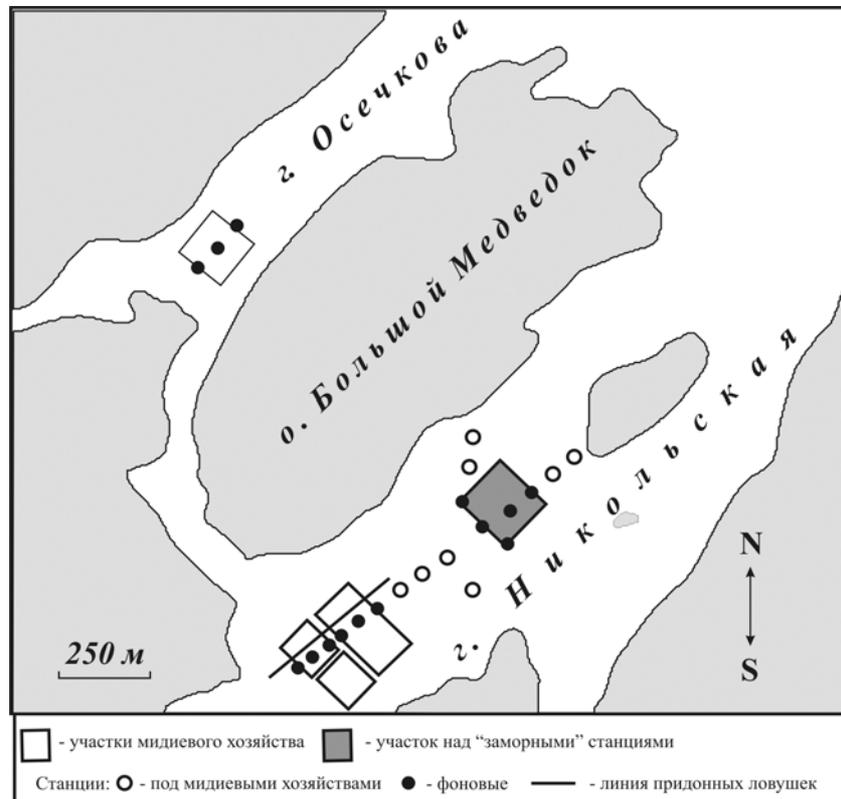


Рис. 1. Карта-схема района исследования

### Мидиевые хозяйства

С 1997 г. на трех участках мидиевого хозяйства г. Никольской, расположенных компактной группой (Рис. 1), нами ежегодно отслеживалась динамика численности и биомассы мидий различных возрастов на субстратах. Кроме того, мы располагали подобными данными за предыдущий период существования этих участков, предоставленными сотрудниками кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ.

Сбор материала во все года осуществлялся по единой методике. Сохранность субстратов и их заселенность (в %) мидиями определяли визуально путем тотального осмотра линий мидиевого хозяйства с катера и выборочной проверки отдельных субстратов. В связи с показанной ранее (Максимович и др., 1993) неоднородностью искусственного поселения мидий по вертикали моллюсков счищали с десятисантиметровых отрезков субстратов с глубин 0,5 и 2,5 м. Для получения средневзвешенных параметров мидиевого поселения данные, полученные с разных глубин, усредняли. На участке марикультуры выбирали несколько станций (от 2 до 5 в разные сезоны наблюдений). У мидий в пробах измеряли максимальный размер с точностью до 1 мм и определяли их возраст по меткам зимней остановки роста. Моллюсков размером менее 2 мм, осевших в год пробоотбора, не учитывали.

Для оценки количества органических веществ, выделяемых этими участками марикультуры, было применено два подхода: Первый - расчетный метод, использует уравнения связи линейного размера мидий с экскреторной активностью и линейного размера с массой:

$F = 0,08L^{1,44}$  (Максимович и др., 1993) и  $W=0,0001L^{2,96}$  (Кулаковский, Сухотин, 1986), где  $F$  – количество экскретов, мг сухой массы/сут.,  $L$  – длина раковины моллюсков, мм.,  $W$  – биомасса, г сыр. массы с мантийной жидкостью.

Во втором случае непосредственно измеряли количества осаждающихся веществ под субстратами МХ. В 1997-98 гг. нами был проведен эксперимент по их улавливанию. Использовались седиментационные ловушки, которые представляли собой цилиндры внутренним диаметром 33 см (площадь сечения  $0,092 \text{ м}^2$ ) и высотой 1 м, вместо дна у седиментационных ловушек крепили марлевую ткань для улавливания оседающих веществ. По две ловушки вывешивались под субстратами мидиевого хозяйства, на глубине 5 м от поверхности, один раз в 1997 г. и два раза в 1998 г. Сроки экспозиции составляли от 1 до 3 суток. Массу осадка определяли как разницу между весом обезвоженной марли до и после экспозиции.

В 1999 г. для количественного описания процесса осаждения взвешенных органических веществ в акватории нами была выставлена линия придонных седиментационных ловушек, аналогичных вышеописанным. Ловушки устанавливались в метре от

дна, срок экспозиции 2 суток. Линия ловушек проходила от кутовой части г. Никольской, начинаясь в 125 м от участков мидиевого хозяйства, проходила через них и протягивалась мористее хозяйств еще на 100 м (Рис. 1). Ловушки устанавливали через 25 м.

### Результаты и обсуждение

Количество органических веществ, производимых искусственными мидиевыми поселениями, и соответственно, поступающих в дальнейшем в окружающие экосистемы, как было показано различными авторами (Максимович и др., 1993; Кулаковский, 2000) напрямую зависит от общей биомассы мидий. Мы располагали материалами, позволяющими проследить динамику биомассы мидий на субстратах изученного участка марикультуры, за 10 лет, начиная с 1989 г. – установка участка и кончая 1999 г. – когда практически все субстраты на участке были ликвидированы.

Прирост общей биомассы мидий на субстратах в первые 4 года существования участка носил фактически линейный характер, что характерно для беломорских культивируемых мидий, после 4-го года экспозиции биомасса мидий на субстратах достигла величины  $6 \pm 0,75 \text{ кг/м}$  погонный. В дальнейшем эта величина не имела тенденции к росту и колебалась в пределах  $5,5 \pm 1,2 \text{ кг/м}$  пог. Исходя из этого, следует ожидать, что нагрузка органическими веществами будет увеличиваться первые 4 года, а в дальнейшем стабилизируется.

Располагая количественными характеристиками мидиевого поселения на исследованном участке марикультуры, мы смогли оценить поступление взвешенных органических веществ в акваторию расчетным методом. Исходя из этих данных, при общей биомассе мидий на субстратах около 200 тонн сырой массы, интересующая нас величина поступления взвешенного органического вещества в акваторию, рассчитанная по параметрам изученных участков МХ, составляет приблизительно 390 кг сухого органического вещества в сут.

При непосредственном улавливании взвешенных органических веществ седиментационными ловушками под субстратами мидиевого хозяйства получили следующие результаты: в среднем седиментационная ловушка за сутки улавливала  $484 \pm 126 \text{ мг}$  сух. орг. в-ва. При пересчете на площадь исследованных участков марикультуры -  $60000 \text{ м}^2$  получим, что в среднем с этих участков в акваторию поступало  $315 \pm 80 \text{ кг}$  сухого органического вещества в сутки или около 50 кг с гектара в сутки. Заметим, что результаты, полученные двумя независимыми методами очень близки друг с другом.

Следующий вопрос, который нас интересовал, как распределяются взвешенные органические вещества создаваемые мидиевыми хозяйствами по акватории. В летний сезон 1998 г. нами был проведен эксперимент по улавливанию оседающих взвешенных веществ придонными седиментационными

ловушками. Кластеризация ловушек по количеству уловленного осадка позволяет разбить их на две группы. В первую группу попадают ловушки со средней массой сухого осадка в сутки -  $70 \pm 14$  мг, во вторую со средней массой сухого осадка в сутки -  $295 \pm 40$  мг. При пересчете этих результатов на  $\text{м}^2$  получим соответственно:  $0,76 \pm 0,15$  г сух. орг. в-ва /  $\text{м}^2$  в сут. в первой группе и  $3,2 \pm 0,43$  г сух. орг. в-ва /  $\text{м}^2$  в сут. во второй. В группу с большим количеством осажженного вещества, входят ловушки, расположенные непосредственно под участками мидиевой марикультуры, и две ловушки, примыкающие к ним со стороны моря. В группу с малым количеством уловленных веществ вошли все ловушки, расположенные между берегом и участками хозяйства, и две крайние со стороны моря. Таким образом, интенсивное оседание взвешенных веществ происходит под марикультурой и на расстоянии до 75 м в сторону моря. В этом районе оседает около 70–80% ВОВ, производимых культивируемыми мидиями.

Поступление дополнительных органических веществ в бентосные системы не может не сказываться

на физико-химических свойствах донных осадков. Нами фиксировались содержание органических веществ, величина окислительно-восстановительного потенциала на поверхности и в толще осадка, гранулометрический состав как на станциях под марикультурой, так и на «фоновых» станциях, находящихся вне зоны воздействия. В таблице 1 приведены данные по исследованным показателям донных отложений.

Повышенное содержание органических веществ и доли пелитовой фракции говорит о более интенсивном поступлении ВОВ на станции под мидиевой марикультурой, а пониженные значения Eh на поверхности и в толще осадка свидетельствует о более интенсивных процессах минерализации на поверхности и захоронении органических веществ в толще донных отложений. Надо отметить, что и после ликвидации участков мидиевого хозяйства физико-химические показатели осадков не возвращались к фоновым в течение нескольких лет наблюдений (максимальная продолжительность 7 лет).

Таблица 1. Усредненные физико-химические показатели донных отложений на исследованных станциях

Станции	Содержание орг. в-в, %	Eh 5мм / 40мм, мВ	Доля пелитовой фракции
Под МХ	$7,3 \pm 0,61$	$194 \pm 14 / 98 \pm 10$	$28,7 \pm 5,5$
Фоновые	$4,4 \pm 0,28$	$396 \pm 16 / 307 \pm 28$	$11,3 \pm 3,8$

### Реакция макрозообентоса

Исследуя сообщества макрозообентоса под участками мидиевых хозяйств, мы наблюдали две различных ситуации. Первая складывалась на большинстве станций. Здесь отклик сообщества макрозообентоса на поступление дополнительных органических веществ выражался в увеличении количественных характеристик, таких как общие биомасса и численность. Средние значения этих показателей составляли: общая биомасса –  $166 \pm 31$  г/м<sup>2</sup> и общая численность –  $5090 \pm 300$  экз/м<sup>2</sup>. Для контрольных станций эти показатели соответственно:  $25 \pm 3,5$  г/м<sup>2</sup> и  $3700 \pm 470$  экз/м<sup>2</sup>. При этом не происходило существенного роста видового разнообразия. Среднее количество видов на обеих группах станций не сильно различалось:  $31 \pm 1,1$  под хозяйствами и  $28 \pm 1,2$  на контрольных.

Вторая ситуация сложилась только под одним участком мидиевого хозяйства 1988 г. установки. Первые два года функционирования участка макрозообентос под ним активно увеличивал биомассу и численность, однако на третий год минерализация поступающих ВОВ вызвала дефицит кислорода и, как следствие, полную деградацию сообщества макрозообентоса. Полностью исчезли все таксоны кроме нескольких видов оппортунистических полихет. Основу биомассы и численности (более 95%) составили особи полихеты *Capitella capitata*. Наибольшего расцвета сообщество *Capitella capitata* достигло на

второй год после начала замора. Численность этого вида составляла больше 12000 экз/м<sup>2</sup> и биомасса больше 25 г/м<sup>2</sup>, было отмечено еще 6 видов макрозообентоса, но это единичные находки. После ликвидации в 1992 г данного участка марикультуры сообщество макрозообентоса начало восстанавливаться. К лету 1994 г. *Capitella capitata* полностью исчезла из сообщества на изучаемой станции. Одновременно в 1994 г. можно отметить сильно возросшее видовое разнообразие (18 видов макрозообентоса). Однако облик сообщества оставался полностью полихетным. Только через 5 лет после снятия нагрузки в значимых количествах начали появляться моллюски.

Причинами заморных явлений под данным участком мидиевого хозяйства на наш взгляд являются:

- Рельеф дна г. Никольской. Участок расположен над ковшеобразным углублением с максимальными для губы глубинами 27-35 м. Процессы перемешивания и обогащения придонных вод кислородом, связанные в основном с приливно-отливными течениями, здесь, по-видимому, в меньшей степени затрагивают придонный слой воды.

- Особенности субстрата (плотный крученый капроновый канат). На третий год функционирования участка наблюдались массовые обрывы мидиевых друз. На таких глубинах мидии не выживали, и разложение такого дополнительного органического материала требовало дополнительного кислорода.

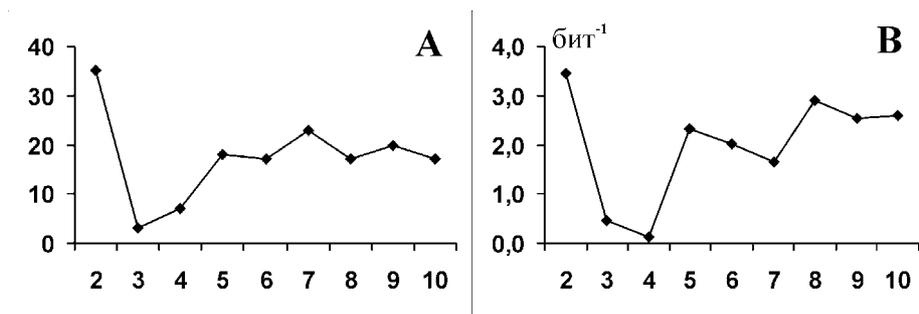


Рис. 2. Динамика видового разнообразия на станции, подвергшейся замору: А - число видов, В - индекс Шеннона по численности. По оси абсцисс года от установки участка марикультуры

Поступление в донную систему дополнительных органических веществ воздействует на макрозообентос двумя различными путями. В первом случае, кислорода в придонном слое воды достаточно для минерализации и тогда дополнительные органические вещества, поступающие в донную систему от мидиевых хозяйств, расширяют кормовую базу и вызывают увеличение численности и биомассы донных организмов. Мы считаем эту стадию слабым загрязнением органическими веществами. Во втором случае кислорода в придонном слое воды не хватает на минерализацию дополнительных органических веществ, и на дне развиваются заморные явления. В таких условиях подавляющая часть организмов макрозообентоса исчезает, остаются только виды-опортунисты, способные выжить в таких условиях. Это уже стадия сильного загрязнения органическими веществами.

Изменения характеристик сообществ бентоса под мидиевыми хозяйствами происходят как правило в первые 3-4 года, когда идет наращивание биомассы мидий на субстратах. Если в этот период не наблюдались проявления сильного органического загрязнения, то вероятность их появления в дальнейшем мала. Восстановление бентосных сообществ до первоначальных характеристик протекает мед-

ленно. Спустя 7 лет после снятия участка мидиевого хозяйства, этого не произошло. Нам кажется, что медленное восстановление связано с изменившимися физико-химическими характеристиками донных осадков, таких как гранулометрический состав, содержание органических веществ, концентрации в толще осадков свободного кислорода.

### Литература

- Кулаковский Э.Е. 2000. Биологические основы марикультуры мидий в Белом море // СПб. 168 с.
- Кулаковский Э.Е., Сухотин А.А. 1986. Рост мидии обыкновенной в Белом море в естественных условиях и в условиях марикультуры // Экология, № 2. С. 35-42.
- Максимович Н.В., Миничев Ю.С., Кулаковский Э.Е., Сухотин А.А., Чемоданов А.В. 1993. Динамика структурных и функциональных характеристик поселений беломорских мидий в условиях подвешного выращивания // Исследования по марикультуре мидий на Белом море. СПб. С. 61-82.
- Петелин В.П. 1967. Гранулометрический анализ морских донных осадков // М., «Наука». 128 с.
- Шостак Т.А., Лостерник В.А. 1988. Методика экспресс-аналитических исследований химического состава, физико-химических и физико-механических свойств морских осадков в специализированных морских экспедициях // Киев, ИГН АН УССР. 55 с.